多軸加工に関するセミナーの開発について

高度ポリテクセンター
（高度職業能力開発促進センター）
多井作和郎・宮下英明

1．はじめに

次世代NC加工技術として，多軸加工が実用化されてから久しいが，いまだに同時３軸加工と比べると一般的であるとは言えない。多軸加工と一般の加工のメリット，デメリットを比較検証し，今後，より高度な加工技術として発展しうるのか，あるいは発展させるには何が必要であるのか，セミナーをどのようなアプローチで実施していくべきかを検証する。

また，今回は工作機械，ソフトウェア等の設備の事情から，多軸加工のなかでも，５軸加工機を使用した加工に的を絞った。

2．使用機器

2.1　工作機械

三井精機㈱５軸マシニングセンタ HS5A-5X

2.2　CAD/CAMソフトウェア

SDRCinc.CAMAND

3．2.5軸および３軸加工と５軸加工

3.1　2.5軸・３軸加工の特徴

2.5次元加工は一定の平面（通常はXY平面）内を各座標値と移動指令で加工するものであり，マニュアルプログラミングがその代表である。

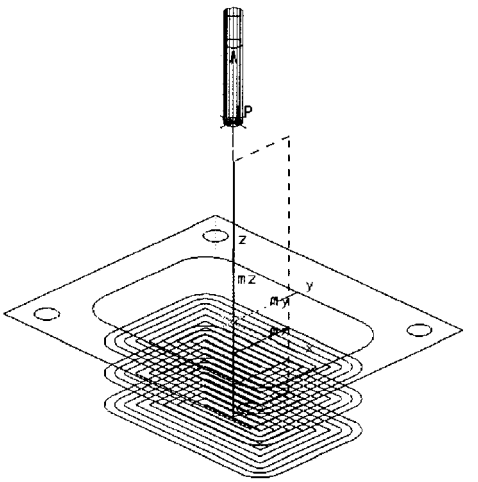


図１　ポケット加工

一定の高さ（平面）を決めて，その平面内の二次元での工具の動きを考えればよい（図１）。

このことは，加工物の深さ（Z方向）の分だけで工具の突き出し量が決まり，切削条件では，切り込み量（Z）は加工平面を決定した時点で必然的に決定され，作業者（プログラマ）は工具の回転数（切削速度 V）と送り速度（F）を考えればよく，単純にカッターサイドの加工になる。

つまり，

・工具の軌跡は２軸（X,Y軸）の直交座標値
・加工深さ（プログラム）＝工具突き出し量
・工具の制御点は先端の中心
・切削条件は基本的に工具径方向

さらに，同時３軸の加工になると上記に深さ方向（Z軸）の動きが加わる（図２）。

工具の動きが三次元曲線になり，加工物の形状も

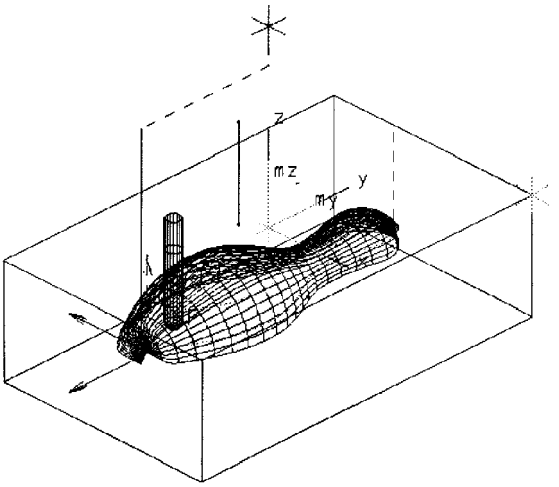


図２　スキャニング加工

三次元曲面で構成されたものが加わり，干渉をさけるための工具の突き出し量は，加工物や取り付け治具の高さになる。加工物の取りしろが大きい場合や，一定ではない場合は安全を見込んでやや大きめに取るのが普通である。また切削条件は特に深さ方向（Z）に削るとき切削抵抗の変動が大きい。
つまり上記に加え，

・工具軌跡は直交３軸で三次元曲線もある。
・被加工物や加工部位に合わせて工具干渉を避ける必要がある。
・切削条件の変動に注意が必要

などを考慮する必要がある。

同時３軸のプログラムはCAMによるものがほとんどであるのは，これらが理由である。

作業者が条件をすべて判断するには，それほど複雑ではないものの，量的に膨大なるため，一定の条件をCAMシステムに与え演算させることになる。このとき，与える条件は，

・加工物の形状と加工部位
・同じく取り付け治具等
・工具，ホルダーの形状
・切削条件と加工法

などである。これら条件に共通するものは，形状の定義であり，それに従いCAMが三次元空間での工具の移動（座標値）を出力している。

つまり，作業者は，形状さえ明確に判断できればよいことになる。

最近ではCAMシステムの発達により，上のような条件を与えるだけで最適なツールパスを出力できるものが増えている。特に切削条件の変動を少なくし，加工時間の短縮をねらった加工方法や，ツールパスの出力ができるものがほとんどである。

乱暴な言い方をすれば2.5軸と３軸の加工は工具の三次元空間の移動定義をすればよい。

３軸加工のメリット

・プログラムがシンプル
・干渉の確認が容易
・被加工物の取り付けが容易
・工作機械にあまり依存されない
・ポストプロセッサの設定が容易

2.5軸・３軸の限界

・アンダーカットは加工できない
・ワーク形状より長い工具が必要なことがある
・多面加工は治具を要し，かつ複雑
・工具中心での加工をなくするのは不可能
・工具負荷を一定にするには限界がある

3.2　５軸加工の特徴

５軸の加工では，工具軸の角度を任意に設定することができる。これは３軸加工の要素に，

・加工物に対する工具軸の角度
・工具軸の角度の変化による工具接触点の移動

などが追加される。

これは，工具に対する加工の負荷，アンダーカット部の加工など，３軸では，加工物の取り付け方向を変更（段取り替え）をしなければ不可能だったことや，加工自体が不可能であったことが可能になる。しかし，工具軌跡が座標による移動だけでなく，回転運動を伴うことになると，回転運動について当然工具先端の移動を持つことになり（工具先端が回転中心ではない限り，半径分の移動を伴う），このことが５軸加工を成立させる上で最大のネックになる（後述）。

５軸加工のメリット

・アンダーカット，回り込み部の加工が可能
・法線方向の形状深さの工具が使える
・工具中心での加工を回避できる

・多面加工時も治具が不要
・同じく段取り替えが不要
・工具負荷を均一化した加工が可能
・同一工具でより多くの形状加工が可能

５軸加工の難しさ

・加工の基準を決めにくい
・直交座標が回転する
・干渉の確認が難しい
・工作機械による差（回転軸の構造）が大きい
・ポストプロセッサの設定が難しい
・被削物対工具の関係に選択肢が多い
・良いCAMがあまりない
・工作機械が高価

４．５軸加工の手順とセミナー展開

５軸のNCデータを作り加工するプロセスは，

① 同時５軸制御のイメージを作る
② 工作機械の特性の把握
③ CAMシステムの癖の把握
④ 工作機械特性のCAMへの反映
⑤ 被加工物の加工段取りの検討
⑥ カッターパスの出力と検証
⑦ テストカット

になる。これを基本としセミナー展開を行った。

４.１ 各要素のポイント

同時５軸制御のイメージを作る

まず一番初めに３軸加工の作業者が座標系に２つの回転軸（極座標）が追加されるイメージについて考えてみる。

３軸マシニングセンタの工具軌跡は右手直交座標を工具が移動する定義になり，機械構造により動くのは，加工物（テーブル）であったり，工具（主軸）であったりするが，３軸の場合は，どちらが動くにしても，加工物と工具の相対的な関係は同一であるため（直交３軸の座標値），あまり問題にはならない。

しかし，回転は軸が工具の先端中心を通っている場合以外は，加工物と工具の相対関係（距離）が変化する。回転軸が工具先端中心を通っていることなど事実上あり得ないので，何らかの方法で補正する必要がある（通常はCAM）。ここで大切なのは軸を回転すれば，必ず移動が伴うことを理解することである。

つまり，工具先端が回転軸から離れれば離れるほど（回転半径が大きくなるほど），移動距離が大きくなることである。プログラムを作るうえで，単純に「工具の角度を変える（工具先端中心を回転軸が通る）」と考えると，干渉やオーバートラベルなど重大な過ちを犯す可能性がある。また，回転軸は工作機械によってまちまちであり，特に主軸側に回転軸を持つ機械は，工具の長さ（突出量）によっても変化する。

工作機械の特性の把握

工作機械の特性は機械のカタログ等を調べればよいが，回転軸の位置は機械構造によりまちまちで，回転２軸がオフセットされた（動きを小さくあるいは精度を維持するため）機械もある。

また，機械の精度的な個体差があるので注意が必要である。また，あわせて制御装置の特性も調べておく必要がある。よって，

・構造的特徴の把握
・回転２軸の位置
・可動範囲の確認
・NCコードの特徴

などが必要である。

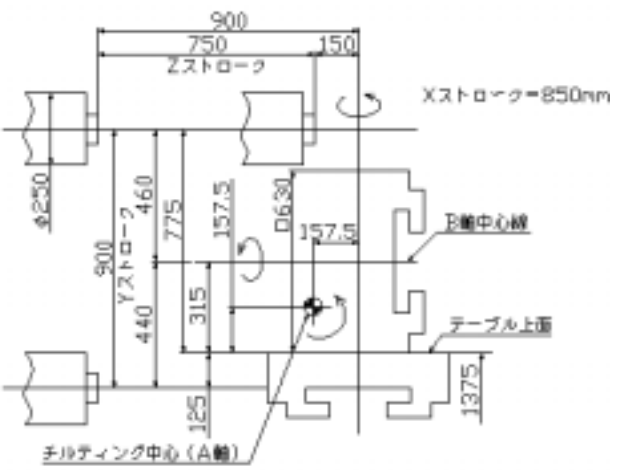
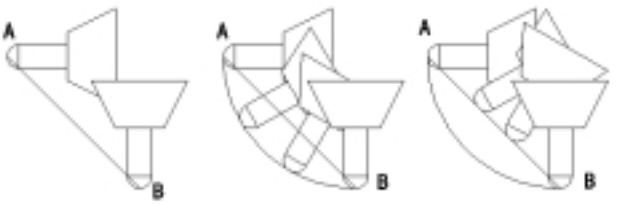


図３ HS5A-5Xレイアウト



通常　　リニアライゼーションなし　　リニアライゼーション

図４

■５軸加工機が避けられない問題点

①　回転軸であること

回転軸である以上，角度による制御をせざるを得ない（通常0.001゜が最小単位）。中心軸から加工点の距離が大きくなればなるほど座標値の誤差は大きくなる。また機械構成部品が３軸の約２倍になり，空間精度で20μmと言われる。

②　リニアライゼーション

座標の移動と回転を同時に行うためには，回転分の工具刃先の座標のずれを補正しなければならない（図４）。

図４のように補正しても誤差は生じるわけで，その対応として「AB間の距離をいくつにするか」が問題になる。通常３軸で曲線を加工する場合曲線を基準とした許容誤差で分割するが，５軸の場合は距離（分割数）を考慮しなければならない。

また，実際の加工ではこの補正を規則的（厳密には違うが）に繰り返すことになるため，カッターサイドの加工などで通称バーコードと呼ばれる送りマークが現れ面精度を悪化させる。回避法はリニアライゼーションの誤差が小さくなる（しなくても良い）方向に加工するしかない。

③　送り速度の問題

回転することにより，ワークの加工長さと機械の移動距離が同じにならない（図５，図６）。

F（mm/min）を指定すれば機械は移動経路の法線方向の速度を制御する。

これを回避するには機械の移動量を考慮したFをブロックごと（被加工物に対する送りは一定）に指定する必要がある。また，特定のメーカーにはブロックに1/t（min）を指定するインバースタイム送りもある。

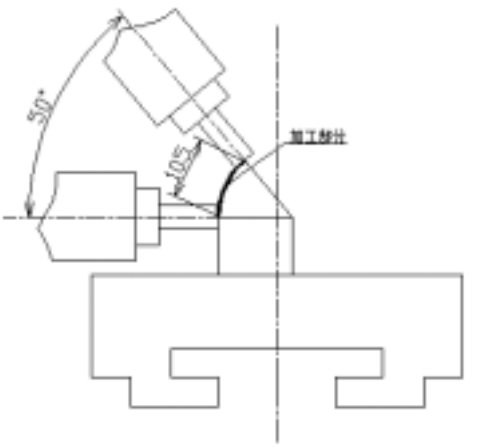


図５　ワーク加工長さ

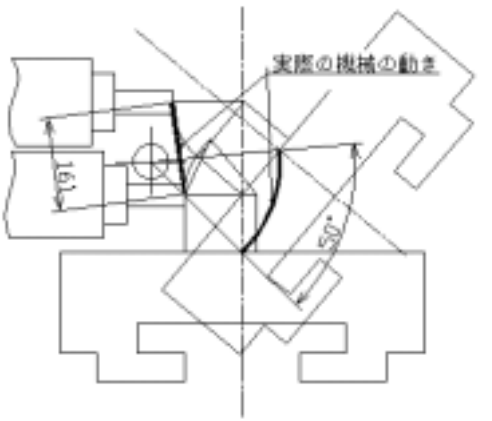


図６　実際の機械（HS5A-5X）の動き

CAMシステムの癖の把握

NCデータは自動プロかCAMによるのが普通であるので，システムの癖の把握が必要になる。

・どんな種類の加工定義が可能か
・それぞれの加工定義の特徴，用途
・シャンク，ホルダー等の干渉チェック
・工具の制御点はどこか
・工作機械の可動範囲等の登録は可能か
・ポストプロセッサの定義方法

これらを踏まえ，加工方法や工具の準備をする必要がある。ソフトウェアによっては，機械の特性や軸のずれ等の補正をすべて，ポストプロセッサで行うものもあり，実際にNCデータを出力するときに最も重要になる。

工作機械特性のCAMへの反映

工作機械の特性をなるべく忠実にCAMへ反映さ

せる。この作業がある意味で，５軸加工を成功させるキーポイントになる。これらの設定が完全なら，後はCAM自身のオペレーションに注意すればよい。

・機械の形態の登録
・NCプログラムに合わせたポスト設定
・その他周辺機器等に合わせた設定

被加工物の加工段取りの検討

・大まかな加工方向を決定する
・可動範囲を超える，工具が入らないなど絶対的に不可能な条件は外す
・ワークの固定方法を決める
・粗加工工程の決定
・仕上げ加工工程の決定

カッターパスの作成と検証

・CAMのオペレーション
・カッターパスの作成と干渉のチェック
・ポストによるNCデータの作成とNCデータでの干渉その他の不備の確認

テストカット

・加工原点設定など，基本的動作確認
・切削条件の確認
・製品精度の確認

５． 教材の作成

5.1 加 工 物

加工する品物は，同時５軸加工としては，最も一般的と言えるインペラーを選んだ。

また，材質はとりあえず，工作機械に負荷の少ないアルミとした。アルミは加工時間，加工工程の設定，加工精度の評価などの点からは，現実的ではない部分も多いが，工具の干渉等が起きても，機械本体を破損する可能性が少ないため，とりあえず加工し，再度，鋼材等に適したプログラムを作成する。

5.2 機械仕様設定ファイル

今回使用したCAMであるCAMANDは工作機械の仕様を記述するファイル（CONFIGファイル）があり，この存在が，同時５軸の加工をより身近なものにしている。このファイルはCAMメーカーもホームページに各社工作機械に合わせたものがアップされているので，これを参考資料に，マニュアルに基づいて作成した。

■CONFIGファイルの例

```
MACHINE :
    name "Table-Table configuration for MITSUI HU-50A "
    xyz          absolute tip
    units        MM
    chord        0.01
    simultaneous
    synchronous
    precision    0.001
PART :
    origin       0.0  0.0  0.0
    xaxis        X
    yaxis        Y
    zaxis        Z
TOOL :
    orient       Z
    origin       0.0  0.0  0.0
PRIMARY :
    variable     $A
    axis  table  X
    zero         Z
    ninety       Y
    align        0.0
    pivot         0.0 157.5 157.5
    limit        -95.0  5.0
    abc          absolute signed halfrange
SECONDARY :
    variable     $B
    axis  table  Y
    zero         Z
    ninety       -X
    align        0.0
    pivot        0.0  0.0  0.0
    abc          absolute signed accumulate
```

5.3 工作機械のモデル

同じく，CAMANDは，工作機械の形状や取り付け具のモデル（CADデータ）を与えることにより，加工シミュレーションを全体で行うことができる。そのため，工作機械のテーブルを簡略化した形状でモデル（図7）とし，加工シミュレーションに使用した。また工具形状等も同様である。

5.4 CAMオペレーション

CAMオペレーションの教材はソフトウエアに付属のモデルデータとマニュアルを使用した。モデルデータについては，各加工方法に適したものが用意されている。

CAM機能のデモンストレーション的にはなるが，同時５軸の加工法をイメージ作るには適している。

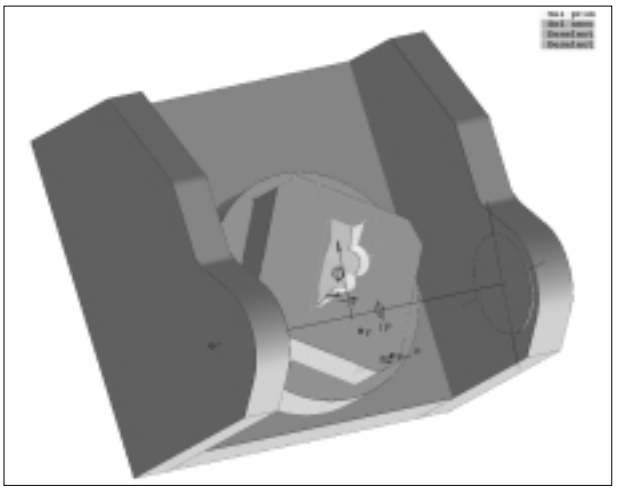


図７　CAM実習（セミナー）

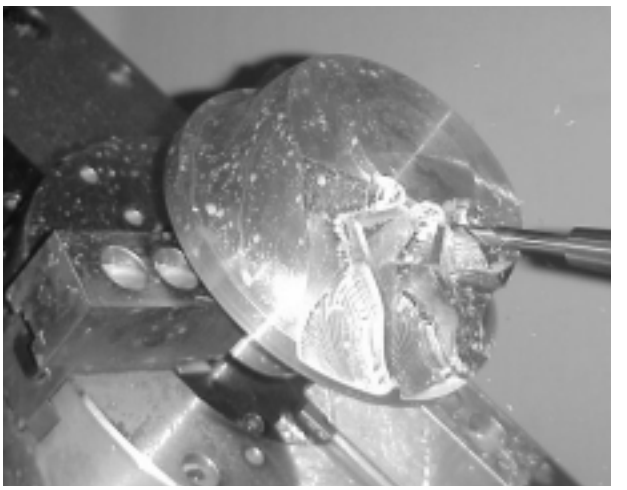


図８　加工実演（セミナー）

５.５　ポストプロセッサー

一般的なもの（メーカーが提供）を修正使用した。基本的にはインクリメンタル（回転方向をNCデータで判断できる＝安全策）とF（mm/min）を出力するポストオプションファイルを作成した。

機械仕様は前記のCONFIGファイルで設定するため，ポストに折り込む必要があるのはインバースタイムであるが，機械が指令のFどおりには動かない（３軸に比べ加減速に機械的制限が多い）ため，回転軸のオフセット量だけ大まかに見込んだ計算からのＦ（mm/min）とし，今後の課題とする。また，アメリカの航空機産業では，アブソリュートでインバースタイム送りが一般的であるようである。

６．多軸加工セミナーの将来性

多軸の加工は，３軸までの加工に比べ，加工の自由度が大きくなる代わりに，オペレータの能力がより要求される。現在までの製造業において，５軸加工の時間的制約，人的な問題，設備費用の問題から３軸に対して絶対的な必要性が感じられなかった。しかし，変種変量生産が当たり前の時代になり，専用設備への投資は必要最小限にすることが常識である。これは，特殊ではあるが，工作機械としての汎用性も兼ね備えた多軸工作機械の可能性が大きくなってきていると言える。

いままで，専用の設備（治具，金型を含む）で生産されていた製品の生産数が激減することにより，より汎用性の高い多軸工作機械での多品種（変種）の加工の需要が出てくる可能性が考えられる。

その時の一番の障害はやはり非常に複雑なNCプログラムの作成である。

多軸のNCデータ作成方法をより具体的かつ明確に教示しセミナーとして展開していく必要がある。

７．おわりに

今回は，基本的３軸加工と５軸加工との比較および５軸の概要にとどまっているが，より具体的な多軸加工法，製品形状別の特徴で加工方法を決定する手法や，機械のタイプ別の加工法などを充実させる必要がある。最後にセミナーの開発実施に多大なご協力いただいた三井精機工業㈱の庄司一徳氏，アルビテクノロジー㈲の長坂正幸氏，および関係者の皆さまに深く感謝いたします。

＜参考文献＞

1）Camand Multi-axis Course Guide，SDRC社.
2）CAMAND/Post ガイド，SDRC社.
3）Camandセミナー5軸コーステキスト，丸紅ソリューション㈱.
4）HS5A-5X取扱説明書，三井精機工業㈱.
5）HS5A-5X保守説明書，三井精機工業㈱.
6）HS5A-5Xプログラミング説明書，三井精機工業㈱.